霞ヶ浦導水事業　那珂川取水口における魚類吸い込み防止対策について

池端　公輔

関東地方整備局　河川部　河川計画課　（〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1）

霞ヶ浦導水事業においては、水質浄化および新規都市用水の供給を目的に那珂川からの取水を計画しているが、那珂川の清流は多様な水性生物の生息域であるとともに、アユの友釣りやサケの遡上については地域の風物詩ともなっている。したがって、那珂川からの取水に際しては、これらの魚類の吸い込みを極力抑え、保全することが必須となっている。本稿では、魚類吸い込み防止対策の検討状況と今後の展開について紹介する。

キーワード　那珂川、アユ、迷入防止対策

1.　はじめに

(1) 霞ヶ浦導水事業について

霞ヶ浦導水事業は、地表からの深さが約５０メートルの地下トンネル形式の導水路により那珂川・霞ヶ浦・利根川を結び、各々の流況（水の豊富な時期・不足する時期）が異なることを利用して、既存の水利用や河川環境の保全等に必要な流量に支障を及ぼさない範囲で、河川水に余裕のある河川から霞ヶ浦を介して不足している河川へと導水する流況調整河川の整備を行うものである。

その目的は下記３点である。

・河川湖沼の水質浄化

那珂川及び利根川から霞ヶ浦に導水することで、霞ヶ浦湖水を希釈するとともに、湖水の入れ替えを促進させ、水質改善を図る。さらに、那珂川から霞ヶ浦に導水する際に桜川へ注水することにより、桜川の水質改善を図る。

・流水の正常な機能の維持と増進

那珂川の渇水時には利根川及び霞ヶ浦から那珂川へ導水し、また利根川の渇水時には那珂川及び霞ヶ浦から利根川へ導水することで、那珂川及び利根川における既得用水の補給の安定化や河川環境の保全など、流水の正常

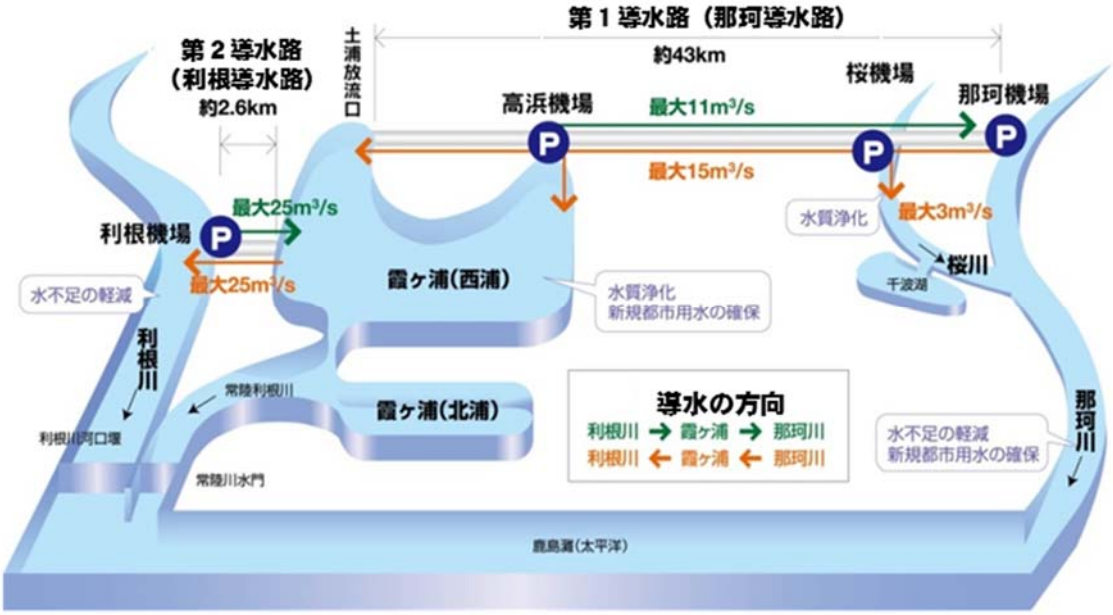

図-1.　霞ヶ浦導水事業の概要

な機能の維持と増進を図る。

・新規都市用水の確保

那珂川及び霞ヶ浦・利根川の水を相互に導水することで、茨城県・東京都・千葉県・埼玉県等の水道用水・工業用水を確保を図る。

(2) 那珂川の自然環境と漁業

那珂川の水質はＢＯＤ（７５％値）で評価すると、全地点で概ね環境基準を満足しており、良好な水質を維持している。

そのため、中流部においては自然豊かな生態系を有するとともに、大小の礫からなる河床と蛇行した流れが生み出す連続する瀬淵は全国でも有数のアユ・サケの産卵・生息場所となっており、毎年６月から見られるアユの友釣りや９月下旬頃から始まるサケの大量遡上は那珂川の風物詩となっている。また、那珂川におけるアユの漁獲量は２０１８年度で約３６２トンであり、河川別の漁獲量で毎年全国一の貴重な水産資源となっている。

図-2. 那珂川におけるアユの友釣り

(3) 漁業関係者との調整経緯

那珂川の漁業関係者との調整は、１９８３年に初めて茨城県内の関係漁業協同組合に対して事業の説明を行い、１９９１年に栃木県内の関係漁業協同組合に対して説明を行っている。１９９２年度からは漁業協同組合の協力のもと、那珂川におけるアユ・サケ等の生態に関する調査を複数年実施し、並行して有識者及び茨城県内水面水産試験場の協力のもと那珂川取水口における吸い込み防止対策の検討を進めてきた。さらに、２００１年度から２００３年度においては、那珂川取水施設懇談会と称し、茨城県内の関係漁業協同組合も参加して取水口の構造や吸い込み防止対策について意見交換を行った。

魚類生態調査や対策工の模型実験を重ねつつ意見交換を進めた結果、机上の検討や模型等による実験では実際の対策効果が十分に評価できないことから、那珂川取水施設の整備を行い、これを用いた現地での実物大試験（以下、魚類迷入試験という。）を実施する方針を２００７年度に関係漁業協同組合へ説明した。

しかし、関係漁業協同組合の工事に関する理解・協力が得られず、２００７年度末に工事差し止めを求める仮処分命令申立がなされて以来、同案件について裁判が継続することとなった。その後、２０１８年１月に裁判所から和解勧告があり、同年４月２７日に和解が成立した。

これを契機に、裁判以降休止していた有識者及び関係行政機関で構成する那珂樋管設置魚類迷入（吸い込み）防止対策効果試験検討委員会（以下、魚類迷入委員会という。）について、関係漁業協同組合も参加のうえ再開し、２０１８年度に２回の議論がなされ、現地での魚類迷入試験実施に向けた具体的な検討を進めている。

2. 吸い込み防止対策検討の対象魚種と生活史

前章にて那珂川における漁業及び漁業関係者との調整経緯について触れたが、那珂川からの取水に際しては水産資源保護のため、魚介類の吸い込みを極力抑え保全する必要がある。

現地調査により把握した那珂川取水口部に生息する魚介類について整理した結果を表-1に示す。調査は２００１年度、２００４年度、２００５年度に実施した。

表-1. 那珂川取水口付近で確認された魚介類

	目	科	種	体長(mm)
1	コイ	コイ	コイ	70
2			ギンブナ	38-248
3			キンブナ	39
4			タイリクバラタナゴ	41
5			オイカワ	38-130
6			マルタ	58-86
7			ウグイ	41-121
8			ウグイ属	29-127
9			モツゴ	37-42
10			タモロコ	52-74
11			カマツカ	76-157
12			ツキフチ	53
13			ニゴイ	22-180
14			スゴモロコ属	24-44
15		ドジョウ	ドジョウ	71
16			シマドジョウ	48
17	サケ	キュウリウオ	ワカサギ	46-118
18		アユ	アユ	53-198
19		シラウオ	シラウオ	60-75
20		サケ	サケ	88
21	ウナギ	ウナギ	ウナギ	61-185
22	ナマズ	ギギ	ギバチ	19
23	トゲウオ	トゲウオ	降海型イトヨ	69
24	カサゴ	カジカ	ウツセミカジカ	24
25	スズキ	スズキ	スズキ	48-650
26		サンフィッシュ	ブルーギル	37-173
27			ブラックバス	197-301
28			コクチバス	92
29		ボラ	ボラ	37-156
30			ボラ科	31
31		ハゼ	カワアナゴ	143-185
32			ウキゴリ	32-50
33			スミウキゴリ	29
34			ウキゴリ属	27-38
35			マハゼ	27-140
36			アシシロハゼ	25-54
37			ボウズハゼ	29
38	スズキ	ハゼ	シマヨシノボリ	28
39			オオヨシノボリ	32
40			トウヨシノボリ	25
41			ヨシノボリ属	29
42			ヌマチチブ	27-85

	目	科	種	体長(mm)
43	カレイ	カレイ	ヌマガレイ	64
44	十脚	テナガエビ	スジエビ	－
45		ヌマエビ	ヌマエビ	－
46			ヌマエビ属	－
47		ザリガニ	アメリカザリガニ	－
48		イワガニ	モクズガニ	－

※調査期間＝平成13年5月～11月
平成16年6月～11月
平成19年5月
※調査方法＝投網、タモ網、定置網、刺網、セルビン、ドウ・カゴ、曳網など

これら魚介類４８種のうち吸い込み防止対策検討の指標とするべき対象魚種を、漁業対象魚種か否か、また魚類の体長や遊泳力を考慮した際に吸い込みの可能性が高いかという観点で絞り込んだ。選定された対象魚種及び生活史を図-3に示す。また、図-4には稚仔魚の例を示す。

次章からはこれら魚種の保全対策検討について述べる。

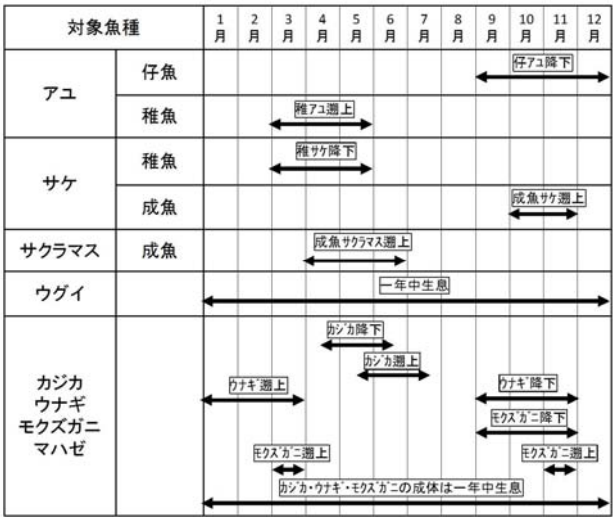

図-3. 吸い込み防止対策検討の対象魚種と生活史

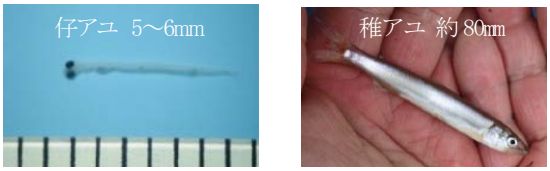

図-4. 生息する稚仔魚

3. 取水流速の検討

那珂川取水口における魚類の吸い込み防止対策を検討するうえで最も重要となるのが取水流速である。取水流速を魚類の遊泳速度程度まで抑えることができれば、様々な物理対策にて魚類の忌避行動を促し、河川へと誘導することが可能となる。

霞ヶ浦導水事業において必要な導水量は決まっていることから、流速を抑えるには取水口の通水断面積を極力大きくする必要がある。なお、導水はポンプを経由して行うことから、取水口を大きくしても河川水を取り過ぎることは無い。取水口形状の決定においては、敷高を那珂川から取水可能な流況時(１９８３～２００１年)における最低水位ＴＰ－０．８ｍとしたうえで、下記の２つの基準を考慮し、幅５．４ｍ×８門とした。

- 流水を著しく阻害するような植物の育成を防止できる最小流速[1)]
  ：Ｖ＝７０ｃｍ／ｓ
- 稚魚等の吸い込みを考慮した最大流速[2)]
  ：Ｖ＝７０ｃｍ／ｓ

前者は水路の維持管理上の流速下限値を示しており、植生の繁茂による取水阻害を予防するものである。また、後者は魚類の遊泳力を考慮し、取水口から逃げることが可能になるよう設定したものである。なお、決定した取水口形状における平均的な取水流速は３０ｃｍ／ｓ程度と試算されている。

魚類の遊泳速度には、突進速度(瞬間的な遊泳が可能である速度)と巡航速度(長時間の遊泳が可能である速度)があり、一般的に紡錘形の魚で突進速度＝体長×１０倍、巡航速度＝体長×２～４倍と言われている。アユは更に遊泳力が強く、突進速度＝体長×１２．４～１８．２倍、巡航速度＝体長×６．１～７．６倍とされている[2)]。那珂川の遡上稚アユの平均体長が６～９ｃｍ程度であることから、稚アユの突進速度は７０～１６０ｃｍ／ｓ程度、巡航速度は４０～７０ｃｍ程度と推測される。

したがって、稚アユは取水流速に抵抗しうる遊泳力を十分に有していると言える。なお、仔アユに関しては遊泳力が極めて弱く、河川の流れに乗って流下する。

4. 魚類吸い込み防止対策の検討

(1) 魚類吸い込み防止対策の種類と対象魚種

魚類吸い込み防止対策の検討を行うにあたり、全国の他事業における対策事例を整理した。結果を表-2に示す。

表-2. 全国における対策事例(2002 年度時点)

対象魚種＼装置の種類		スクリーンネット	表層部にフェンス設置	気泡カーテン	音波発生器	水流カーテン	電気スクリーン	魚返し	集魚灯	赤色版	赤色塗装	赤色吹き流し	赤色照明	ウィンカーチューブ	取水流速の低減化	落差の創出	装置数
アユ	仔魚	3	2	3				3	1		1				2		15
	稚魚	3					1			1	4		1		1		11
	稚魚・成魚	2					2			2		2		1			9
	成魚	10		2	1		3			2	2		2			1	23
	小計	18	2	5	1	0	6	3	1	5	7	2	3	1	3	1	58
コイ・フナ等		2		3	1	2				1	1						10
サケ・アユ							3										3
サケ		2	2	1		2											7
アマゴ・イワナ							1										1
ヒメマス					1												1
ヤツメウナギ		1															1
不明		1															1
事例数		24	4	9	3	4	10	3	1	6	8	2	3	1	3	1	82

これらを参考に有識者や漁業協同組合との意見交換を重ね、那珂川において効果が期待できる吸い込み防止対策の検討を行った。検討にて絞り込んだ１３の対策を、河川内において取水口への接近を防止する「河川内接近・侵入防止対策」、取水口部において水路内への侵入を阻止する「取水口内遮断対策」、さらに取水方法の工夫による「運用対策」の３つの分類に大別し図-5に示す。また、対象魚種ごとに対策を整理したものを表-3に示す。

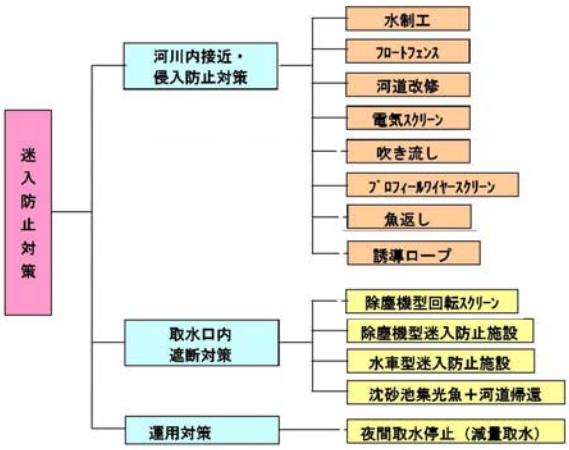

図-5. 魚類吸い込み防止対策の分類

表-3. 対象魚種別の対策

対象魚種	分類	対策
仔アユ	河川内接近・進入防止対策	水制工
		フロートフェンス
		河道改修
	取水口内遮断対策	除塵機型迷入防止施設
		水車型迷入防止施設
		沈砂池集光魚＋河道帰還
	運用対策	夜間取水停止（減量取水）
稚アユ	河川内接近・進入防止対策	電気スクリーン
		吹き流し
		プロフィールワイヤースクリーン
稚アユ・稚サケ	取水口内遮断対策	除塵機型回転スクリーン
底生魚等	河川内接近・進入防止対策	魚返し
		誘導ロープ

※ウグイ及びサクラマスの遊泳力は大きく吸い込みの可能性が低いこと、稚魚と同様な対策効果が期待されることから除外した。
※カジカ、ウナギ、モクズガニ、マハゼは底生魚等に含む。

(2) 模型実験等による効果検証

前項において選定された１３の対策について、模型実験や那珂川の水面を利用した現地実験等を行い、効果の検証を行った。主な実験の結果を下記に記す。

a) 水制工、フロートフェンス、河道改修

河川の流下方向を物理的に変え、流下する仔アユを取水口から遠ざける対策である。水理模型実験にて流況変化を確認し、河川環境に与えるインパクトが最も少なく、効果が高かったフロートフェンスについて現地実験を実施した。しかし、流れの抵抗が大きく河道への設置が困難との結果であり、本対策については不適合と判断した。

b) 除塵機型迷入防止施設、水車型迷入防止施設、沈砂池集光魚＋河道帰還

取水口部に吸い込まれた仔アユを、水路内から河道へ帰還させる対策である。除塵機型と水路型は構造が異なるものの、バケットまたは水車を用いて仔アユを回収し、帰還水路にて河川へ戻すという点は同じである。構造を図-6に示す。

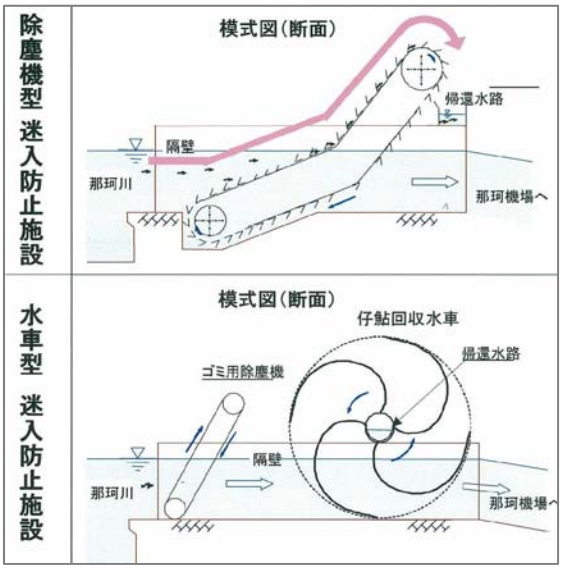

図-6. 除塵機型及び水車型迷入防止施設

効果検証のため、仔アユに見立てた発泡スチロール片を人工水路に流して回収率を評価した。回収率は除塵機型が２９～５８％、水車型が２５～８１％であった。

沈砂池集光魚＋河道帰還は、仔アユが１０，０００ルクス程度の光に寄ってくる習性を利用して水面付近に集魚し、うわ水部分を仔アユごと樋で取水して河川へ帰還するものである。施設構成は図-7に示すとおり集魚灯と帰還水路からなるが、光源の強さや流下長、樋の水深などの条件設定が困難であることから検討が見送られた。

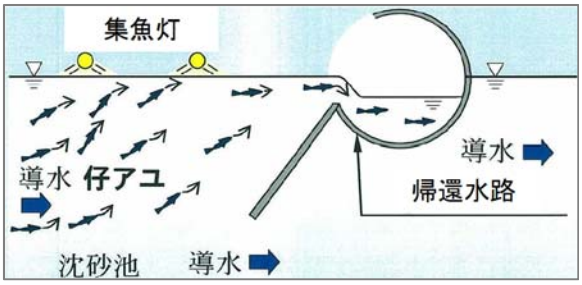

図-7. 沈砂池集光魚＋帰還水路

これらの取水口内遮断対策は、設備構成が複雑なため実機運用に不安が残る。また、仔アユ回収のための網目が０．３mm程度と非常に細かいため目詰まりを起こしやすく、維持管理上の課題があることから、実運用に向かないと判断した。

以上**a)**、**b)**の検証結果から、物理的なハード面での仔

アユの吸い込み防止対策は難しく、ソフト面での運用対策である夜間取水停止(減量取水)による柔軟な対応が求められることとなった。

c) 夜間取水停止

那珂川のアユは一生のうちに海と川を行き来している。秋に中流域で産卵し、孵化した仔魚は海へと降り、翌春まで海で過ごした後、川へとのぼる。

仔アユの降下量調査は１９９２年に開始された。調査は、仔アユが海域へ降下する時期・時間帯を把握することを目的に行われ、実施方法はプランクトンネットを水中に投下して仔アユを採補する手法を採用した。複数年の調査の結果、仔アユの降下時期は１０月から１１月に盛期を迎え、仔アユの降下時間帯は１８時から翌８時に集中することが分かった。（図-8）

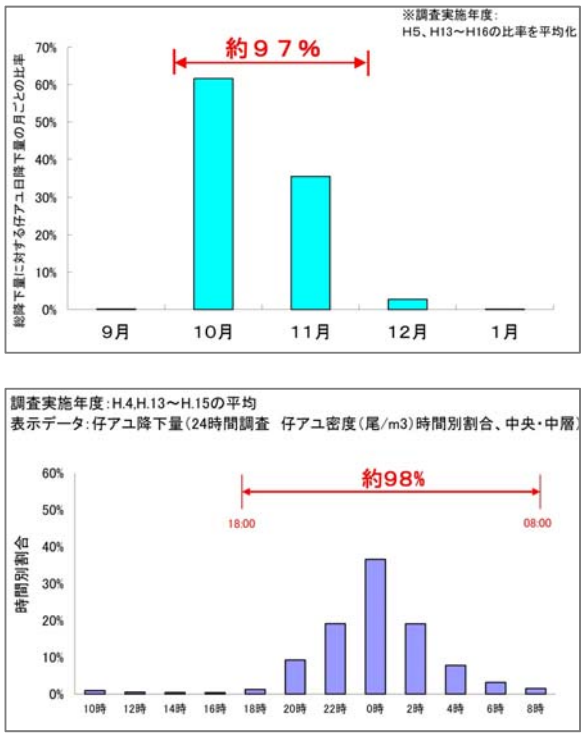

図-8. 仔アユ降下調査結果

この結果、より有効な仔アユの吸い込み防止対策が確立されるまでの間は、仔アユ降下が多い時期・時間帯の取水を行わない夜間取水停止措置が優位な対策であると評価した。

d) 電気スクリーン、吹き流し、プロフィールワイヤースクリーン

河道と取水口の境界付近で電流やワイヤー、吹き流しを用いて稚魚(主に稚アユ)の忌避行動を促し、吸い込みを防止する対策である。電気スクリーン及びワイヤースクリーンについては、魚体が損傷する可能があることに配慮し不適合と判断した。

図-9. 吹き流し

吹き流し(図-9参照)は那珂川河道の一部を使用した現地実験の結果、６３～８１．８％の忌避誘導効果が確認されたことから、優位な対策として評価した。

e) 除塵機型回転スクリーン

比較的目の細かい金網タイプのメッシュスクリーンにより稚魚が水路内に迷入するのを防止する対策である。このスクリーンは河川を流下してくる塵芥の除塵機の役割があり、網に付着した塵芥の除去のためにスクリーンが回転する仕組みになっている。設備イメージを図-10に示す。網によって物理的に侵入を防ぐとともに、スクリーンが動くことによる魚類の忌避効果も期待できる。

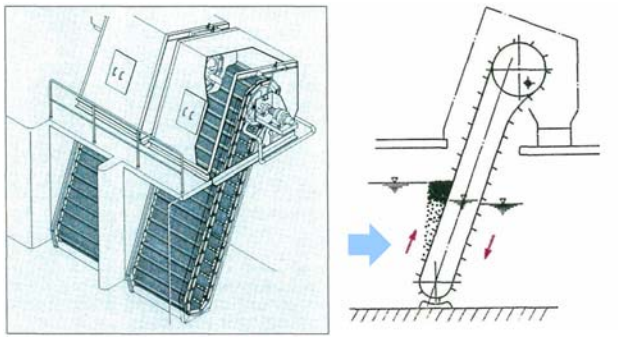

図-10. 除塵機型回転スクリーンのイメージ

実際の稚魚を使用した人工水路での実証実験において、スクリーンの目幅を１０mm、３０mmに変えたケースの通過率を調査しており、稚アユは８２～８９％、稚サケは５１～９３％の吸い込み防止効果が確認された。目幅が細かいほど高い効果が確認されているが、塵芥清掃頻度など維持管理面に影響するため、最適な目幅の精査が必要である。

f) 魚返し、誘導ロープ

取水口前面に垂れ下がり壁やロープを設置することで、底生魚やカニ等甲殻類が迷入することを防止する対策である。設備イメージを図-11に示す。これら対策の効果は今後評価を行う必要がある。

図-11. 魚返しイメージ、誘導ロープ事例(長良川)

5. 今後の展開　～魚類迷入試験の実施～

前章に記述したとおり、対象魚の選定を行ったうえで実験を行い対策効果の検証を進めてきた。現時点で優位な対策として挙がっているのは次の５つである。

- 夜間取水停止

- 迷入防止スクリーン（除塵機型回転スクリーン）
- 吹き流し
- 魚返し
- 誘導ロープ

これらの対策については、実証実験や他施設事例を考慮すると一定の対策効果が期待されるものの、模型実験や他事例では本来の取水口条件を再現することが難しいことが課題である。特に、本取水口は那珂川の干潮区間に設置されることから、潮の満ち引きで流況は複雑な様相を呈することが想定される。

そこで、本取水口においては第１章第３節でふれたとおり、那珂川取水施設を使用した魚類迷入試験を実施し、各対策の効果を魚類迷入委員会を通じて検証・評価することとした。

施設整備は鋭意進められており、試験は今年の７月から開始する予定である。魚類の生態に影響を与える水理水文要因は未だ十分に解明されていない部分が多く、アユやサケなどの回遊魚に至っては、海洋環境が河川遡上量に影響することが予想される。毎年変化する環境要因を踏まえ適正に対策の効果検証・評価を行うため、概ね３年間を掛けて吸い込み防止対策の効果確認試験を行う予定である。

最後に、現在想定している全対策が施された那珂川取水口のイメージパースを図-12に示す。

裁判を経てようやく再開された那珂川取水口の整備、さらに今年から実施される魚類迷入試験においては、魚類の保全対策を科学的に適正に評価するとともに、漁業協同組合など関係者と密に意見交換を行い、試験の見学会を開催するなど直接目で見て伝わる工夫を取り入れ、引き続き丁寧な対応をおこなっていく予定である。

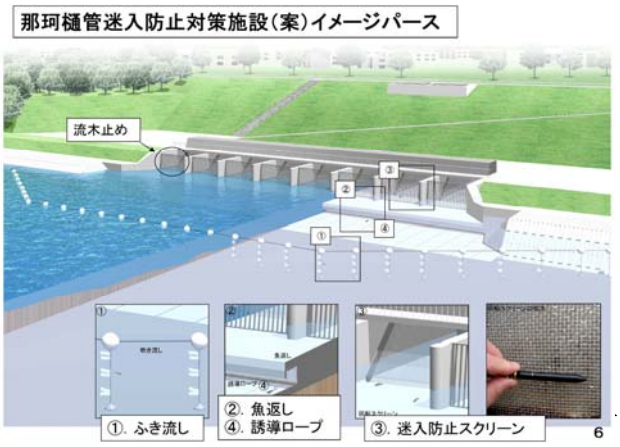

図-12. 対策が施された那珂樋管のイメージ

参考文献

1) 水資源開発公団：水路工設計指針（案）
2) (財)ダム水源地環境整備センター編集：魚道の設計